

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 750 064

(21) N° d'enregistrement national : 96 07807

(51) Int Cl⁶ : B 22 D 25/02, B 23 C 3/02, 3/20

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 24.06.96.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 26.12.97 Bulletin 97/52.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : RICHARDSON KENDRICK EUGENE
— US.

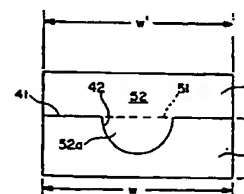
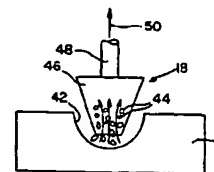
(72) Inventeur(s) :

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : RINUY SANTARELLI.

(54) PROCÉDE ET DISPOSITIF DE PRODUCTION DE PIÉCES PAR DEPOT ET FRAISAGE DE COUCHES
SUCCESSIVES.

(57) Ce procédé permet la formation d'objets en trois di-
mensions (38) en combinant techniques de moulage et
d'usinage. Dans sa mise en oeuvre la plus simple, elle
consiste en les étapes suivantes: dépôt d'une première
couche de matériau de moulage (40) sur une surface de
support (20); usinage d'une première cavité (42) dans cette
première couche de matériau de moulage; application
d'une première couche de matériau de fabrication (52) sur
la première couche de matériau de moulage, de telle sorte
qu'une partie (52a) de cette couche de matériau de fabri-
cation remplit la première cavité pour former la première
section tridimensionnelle de la pièce voulue, et, de telle
sorte qu'une partie (52b) de cette couche de matériau de
fabrication couvre la première couche de matériau de mou-
lage; et finalement usinage de la partie (52b) pour former
une seconde section tridimensionnelle de la pièce voulue.
Un objet de forme complexe peut être produit en répétant
les étapes précédentes dans la même progression pour
former d'autres sections tridimensionnelles. Le dispositif de
mise en oeuvre de cette invention comprend une unité in-
formatique (30) avec microprocesseur (34) et système de
CAO/FAO (36) commandant automatiquement un guide
(24) de positionnement d'alimentateurs de matériaux (14,
16) et d'opération d'une fraiseuse (12).



FR 2 750 064 - A1



BEST AVAILABLE COPY

5

PROCÉDE ET DISPOSITIF DE PRODUCTION DE PIÈCES PAR DÉPÔT ET
FRAISAGE DE COUCHES SUCCESSIVES

10

ÉTAT DES TECHNIQUES ANTÉRIEURES

Cette demande correspond à la demande des États-Unis d'Amérique n° 08/361 123 déposée le 21 Décembre 1994.

Domaine de l'invention

15 La présente invention concerne un procédé de fabrication d'objets solides tridimensionnels grâce au dépôt et au fraisage commandés par ordinateur de couches successives de matériaux. Cette invention décrit également un dispositif assisté par ordinateur de fraisage séquentiel de
20 plusieurs couches de deux matériaux dissemblables pour obtenir l'objet solide voulu couche par couche.

Description des méthodes existantes dans le domaine

La fabrication de pièces en trois dimensions fait couramment appel aux techniques d'usinage. De telles
25 techniques, comme le fraisage, le perçage, la rectification, le découpage au tour, le découpage à la flamme et l'usinage par étincelage, permettent de travailler un bloc de matériau par enlèvements progressifs pour lui donner la forme voulue. Si ces méthodes traditionnelles sont en général efficaces,
30 elles ne permettent cependant pas de fabriquer certaines pièces de formes complexes. Elles sont plutôt destinées à la production de pièces symétriques, et de pièces dont seules les faces externes sont usinées. Quand la géométrie de la

pièce est inhabituelle ou quand son intérieur présente des particularités, l'usinage devient alors plus difficile et il faut souvent fractionner la pièce en segments distincts, qui seront ensuite assemblés. Dans bien des cas, un type de pièce
5 particulier se révèle impossible à exécuter du fait des limitations imposées par le positionnement de l'outil sur la pièce. Ainsi, sa taille et sa configuration ne permettent pas l'accès à l'outil pour réaliser la configuration souhaitée. De plus, comme ces méthodes traditionnelles d'usinage
10 requièrent habituellement une grande attention et un haut niveau de qualification de la part de l'ajusteur, la fabrication est relativement lente et coûteuse.

Différents systèmes de modelage en trois dimensions ont été proposés et/ou développés pour éliminer les limites
15 inhérentes aux méthodes traditionnelles. Par exemple, le brevet américain No. 3,932,923 (DiMatteo) décrit une méthode de production de plusieurs éléments correspondant à de minces sections transversales de l'objet à produire commandée par un profilomètre. Les éléments individuels plans sont ensuite
20 empilés, puis solidarisés par différents moyens pour constituer la pièce finale en trois dimensions. Cette méthode s'est révélée d'application difficile, car, si la pièce à fabriquer est irrégulière et si ses contours sont à rendre avec précision, le nombre de sections planes peut devenir
25 excessif. La manipulation et la nécessité d'un empilage précis de ces nombreux éléments pour qu'ils soient dans ces tolérances ralentissent alors fortement la fabrication des pièces.

Un autre procédé de modelage en trois dimensions est
30 celui du frittage partiel par laser, dont les brevets américains No. 4,863,538 (Deckard) et No. 4,938,816 (Beaman et collaborateurs) donnent une description représentative. Ce procédé implique le dépôt d'une poudre, par exemple de matière plastique, sur une surface de contact afin de former

une couche pulvérisée. La surface est ensuite partiellement ou totalement frittée au laser afin de lier entre elles les particules de poudre de cette couche et ainsi former une couche distincte de l'objet tridimensionnel. Par appositions
5 successives de couches distinctes de poudre et frittage, il est possible de créer une pièce en trois dimensions. Cette méthode de frittage par laser présente plusieurs inconvénients, le nombre de matériaux utilisables limité et les dangers inhérents au dégagement de gaz toxiques résultant
10 des réactions avec la poudre, auxquels s'ajoute un risque d'explosion.

Une variante de la méthode consiste à utiliser un liant, comme une céramique, pour faire adhérer les particules de poudre à la surface de contact. Ce procédé, connu sous le
15 nom d'impression tridimensionnelle et mis au point par Emanuel Sachs au MIT (Massachusetts Institute of Technology, Etats-Unis), est comparable au frittage par laser, si ce n'est qu'il implique l'utilisation du mécanisme d'une imprimante à jet d'encre pour déposer le liant sur une partie
20 sélectionnée de la couche de poudre, plutôt que celle d'un laser pour fritter ensemble les particules.

Ces deux techniques de dépôt de poudre ont un défaut commun à toutes les méthodes déjà décrites plus haut, à l'exception de celles d'usinage traditionnelles : les pièces
25 à produire sont formées d'une superposition de couches ou de sections minces dont le nombre peut être élevé.

Un objet tridimensionnel peut aussi être créé avec la technique d'agglutination de particules, telle que décrite dans le brevet américain No. 4,665,492 (Masters). Avec ce
30 procédé, une première particule, un germe en céramique ou en acier par exemple, est positionnée au point zéro d'un système de coordonnées à trois axes. Des têtes d'émission produisent ensuite des gouttelettes de matériau, par exemple de céramique, en fonction de coordonnées prédéterminées à partir

du germe. Ces particules s'agglutinent sur le germe et se lient entre elles, l'émission continue de gouttelettes de la manière prédéterminée permettant de réaliser finalement la pièce tridimensionnelle voulue. A l'inverse d'autres méthodes, cette technique présente l'avantage d'un large éventail de matériaux utilisables. Par contre, elle pose des problèmes de tolérance dimensionnelle, car la taille des gouttelettes et la précision de leur dépôt sont des facteurs difficiles à contrôler. De plus, la taille microscopique des gouttelettes (qui peuvent ne faire que quelques microns de diamètre) ralentit la fabrication.

Le procédé le plus largement accepté par l'industrie pour la production d'un objet tridimensionnel est celle de la stéréolithographie, telle que la décrivent les brevets des Etats-Unis d'Amérique No. 4,575,330 (Hull) et No. 4,961,154 (Pomerantz et collaborateurs). Cette technique fait appel à un bain de photopolymère liquide. En général, le polymère est solidifié en couches successives par l'exposition séquentielle à une source lumineuse, comme un laser. Chaque nouvelle couche solide adhère à la couche immédiatement précédente et on peut ainsi produire l'objet tridimensionnel désiré. La solidification des couches s'accompagne cependant d'un retrait et d'une torsion du matériau, et ces contraintes peuvent entraîner des problèmes de tolérance dimensionnelle. Si Pomerantz et ses collaborateurs décrivent des moyens de compenser les effets de retrait, le phénomène ne peut cependant pas être éliminé totalement. Par ailleurs, l'objet final ne peut être composé que du matériau photopolymérique employé. De plus, la stéréolithographie présente l'inconvénient d'un fréquent dégagement de gaz toxiques lors des réactions avec les photopolymères.

Un procédé stéréolithographique modifié est proposé par le brevet américain No. 5,031,120 (Pomerantz et collaborateurs). A l'inverse de la méthode précédente, le

photopolymère n'est plus traité en bain, mais appliqué
seulement en couches distinctes et chaque couche liquide ou
partie de couche est solidifiée dans toute son épaisseur (et
non plus à la seule surface du bain polymérique). Tout
5 polymère liquide subsistant non solidifié est éliminé de la
couche, par exemple par aspiration, et les vides restants de
la couche solidifiée sont ensuite comblés par un matériau de
support, tel qu'une cire. Une fois le support solidifié, la
totalité de la couche nouvelle ainsi solidifiée est réduite
10 par rognage à une épaisseur uniforme au moyen d'une machine
d'usinage. Les couches suivantes sont formées de manière
identique jusqu'à obtenir l'objet tridimensionnel voulu.
Cette technique de stéréolithographique modifiée permet
d'obtenir une meilleure tolérance dimensionnelle, car elle ne
15 requiert pas l'emploi de bandes de soutien, qui, dans la
méthode standard, sont indispensables au niveau des contre-
dépouilles et qui doivent être retirées manuellement une fois
la pièce finie. Mais elle présente sinon les mêmes
inconvenients que ceux de la technique standard. Par
20 ailleurs, l'équipement qu'elle nécessite est relativement
complexe et coûteux. De plus, les étapes supplémentaires
imposées par ce procédé ralentissent la production.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'INVENTION

25 La présente invention a pour objet principal un procédé
et un dispositif de production de pièces en trois dimensions
permettant de surmonter les limites inhérentes aux techniques
de l'art antérieur.

Un autre objet de la présente invention est de fournir
30 un procédé et un dispositif de production de pièces en trois
dimensions décrits dans l'invention permettant d'obtenir une
tolérance dimensionnelle donnée indépendamment de l'épaisseur
des différentes sections de la pièce fabriquée.

Un autre objet encore de la présente invention est de fournir un procédé et un dispositif de production de pièces en trois dimensions qui associent techniques de moulage et techniques d'usinage pour produire de telles pièces en plusieurs étapes.

Ce procédé de production de pièces tridimensionnelles consiste en les étapes suivantes : dépôt d'une première couche de matériau de moulage sur une surface de support ; usinage d'une première cavité dans la première couche de matériau de moulage ; dépôt d'une première couche de matériau de fabrication sur la première couche du matériau de moulage, de telle sorte que cette première couche de matériau de fabrication remplisse la première cavité en formant ainsi la première section tridimensionnelle de la pièce voulue, et, de telle sorte qu'une partie de la première couche de matériau de moulage soit couverte par celle de matériau de fabrication ; et usinage de la partie recouvrante de la première couche de matériau de fabrication pour obtenir la seconde section tridimensionnelle de la pièce voulue.

Si l'objet tridimensionnel à fabriquer est de forme complexe, le procédé ici décrit permet de produire ses différentes sections en répétant les étapes suivantes jusqu'à obtenir la forme finale voulue : (1) dépôt d'une nouvelle couche de matériau de moulage sur la dernière section tridimensionnelle de la pièce en cours de fabrication ; (2) usinage d'une nouvelle cavité dans la dernière couche de matériau de moulage déposée ; (3) dépôt d'une nouvelle couche de matériau de fabrication sur la dernière couche de matériau de moulage, de telle sorte que cette couche de matériau de fabrication remplisse la dernière cavité usinée en formant ainsi une autre section tridimensionnelle de la pièce voulue, et de telle sorte que cette nouvelle couche de fabrication couvre la dernière couche de matériau de moulage ; et (4) usinage de la partie recouvrante de la dernière couche de

matériau de fabrication pour obtenir une nouvelle section tridimensionnelle de la pièce voulue.

L'équipement nécessaire à la mise en oeuvre de la présente invention et à la production de pièces
5 tridimensionnelles se compose d'une fraiseuse, d'un système de guidage pour positionner la fraiseuse de façon précise, d'un alimentateur en matériau de moulage commandé par le système de guidage, d'un alimentateur en matériau de fabrication commandé par le système de guidage, et, d'un
10 système de contrôle commandant le système de guidage et la fraiseuse pour l'usinage programmé du matériau de moulage et du matériau de fabrication.

Cette «méthode de production de pièces tridimensionnelles par dépôt et fraisage de couches
15 successives» est un nouveau procédé perfectionné de production d'objets solides par usinage successif de couches peu épaisses, ou lamelles, de matériaux de moulage et de fabrication. Ces couches fines sont directement intégrées les unes aux autres au fil de leur formation pour finalement
20 donner la pièce tridimensionnelle voulue. Le matériau de moulage peut être usiné et recouvert par du matériau de fabrication pour produire par empreinte des formes négatives qui seraient sinon difficiles ou impossibles à usiner avec les méthodes traditionnelles. Les formes positives sont quant
25 à elles produites par l'usinage direct de couches de matériau de fabrication.

Le mode particulier de mise en oeuvre indiqué ici, qui n'est qu'un exemple et auquel la présente invention n'est pas nécessairement limitée, exploite les techniques de conception
30 assistée par ordinateur (CAO) et d'usinage couche par couche : les pièces tridimensionnelles sont ainsi formées par le fraisage de couches déposées l'une après l'autre, fraisage commandé directement par les instructions de l'ordinateur d'un système de CAO/FAO (fabrication assistée par

ordinateur). La présente invention pourrait notamment servir à fabriquer modèles et prototypes sur site industriel et durant la phase de conception du développement d'un produit.

La possibilité d'usiner chaque couche en trois dimensions permet de travailler sur des sections d'épaisseur bien plus importante, en réduisant la complexité des calculs, le temps d'exécution de la pièce et les problèmes de tolérance dimensionnelle. Cette tolérance ne dépend alors plus du nombre de sections planes constituant la pièce, mais, en grande partie, de la précision de l'usinage. Par ailleurs, le procédé de la présente invention autorise l'emploi d'une variété de matériaux : métaux, plastiques, cires, bois, polymères et composites peuvent par exemple être utilisés pour le moulage et/ou la fabrication. Le terme «composite» désigne ici tout matériau fait de deux substances différentes, et plus particulièrement les composés synthétiques, y compris les plastiques renforcés à la fibre. Ces matériaux permettent de combiner les qualités de chacun de leurs composants. Ainsi, les plastiques renforcés sont-ils des composites légers et résistants à la rupture de par leur matrice polymérique, tout en offrant une rigidité et une grande résistance mécanique grâce aux fibres qu'ils contiennent.

DESCRIPTION SOMMAIRE DES DESSINS

La mise en oeuvre détaillée de l'invention, ainsi que d'autres caractéristiques de cette dernière seront décrites plus loin dans le fascicule. Elle sera mieux comprise si la lecture de ce fascicule descriptif s'accompagne d'une consultation parallèle des figures complétant le texte et illustrant notamment un exemple de l'invention :

la FIGURE 1 est une vue en perspective, partiellement schématique, représentant l'équipement retenu pour la

production de pièces tridimensionnelles selon la mise en oeuvre proposée pour l'invention ici décrite ;

la FIGURE 2 est une vue en perspective d'une sphère ;

les FIGURES 2A à 2F représentent les étapes successives
5 de la création de la sphère illustrée sur la FIGURE 2 selon la méthode de la présente invention ;

la FIGURE 3 est une vue en perspective d'un autre objet tridimensionnel ;

la FIGURE 3A est une coupe verticale selon l'axe 3A-3A
10 de la FIGURE 3 ;

les FIGURES 3B à 3H représentent les étapes successives de la formation de l'objet illustré sur les FIGURES 3 et 3A selon la méthode de production de l'invention ici décrite ;

la FIGURE 4 est une vue en perspective d'un objet en
15 trois dimensions légèrement différent de celui illustré sur les FIGURES 3 et 3A ;

la FIGURE 4A est une coupe verticale selon l'axe 4A-4A de la FIGURE 4 ;

les FIGURES 4B à 4E représentent les étapes successives
20 de la formation de l'objet illustré sur les FIGURES 4 et 4A selon la méthode de production de la présente invention, ces étapes complétant celles des FIGURES 3B à 3H ;

la FIGURE 5 est une vue en perspective d'une sphère creuse ;

25 la FIGURE 5A est une coupe verticale selon l'axe 5A-5A de la FIGURE 5 ;

les FIGURES 5B à 5I représentent les étapes successives de la formation de l'objet illustré sur les FIGURES 5 et 5A selon la méthode de production de la présente invention ;

30 les FIGURES 5J et 5K représentent d'autres techniques de d'élimination d'un matériau de moulage formant l'empreinte d'une cavité fermée ;

la FIGURE 6 est une coupe verticale d'un objet en trois dimensions ayant une face évidée ;

et les FIGURES 6B à 6E représentent les étapes successives de la formation de l'objet illustré sur la FIGURE 6 selon la méthode de production de la présente invention.

La FIGURE 1 illustre l'équipement de mise en oeuvre de la présente invention. Le dispositif (10), représenté sur cette figure d'une manière non détaillée, permet la production de pièces tridimensionnelles selon le mode particulier retenu. Il se compose normalement d'une fraiseuse (12), capable de se déplacer dans les sens indiqués par les flèches (2) et de pivoter dans le sens indiqué par la flèche (4), d'un alimentateur en matériau de moulage (14) pouvant être mobilisé dans les directions indiquées par les flèches (6), d'un alimentateur en matériau de fabrication (16) pouvant être déplacé dans les directions indiquées par les flèches (8), ainsi que d'un éliminateur de déchets (18). Les distributeurs (14) et (16) sont de préférence prévus pour pouvoir alimenter le dispositif en plusieurs types de matériaux de moulage et de fabrication respectivement, comme le montrent les FIGURES 3E et 3G.

L'alimentateur en matériau de moulage (14) est représenté délivrant le matériau de moulage (22') par son orifice (14a). Le matériau de moulage, de même que le matériau de fabrication, peuvent éventuellement être déposés par d'autres techniques : faisceau ou vaporisation de particules, coulée ou pulvérisation de liquides, ou encore poudrage suivi d'une fusion. Ce matériau de moulage (22') est déposé sur une surface support comme le plateau (20) pour y former la couche de base (22). Le matériau de moulage peut par exemple être une cire soluble dans l'eau, telle que celle vendue aux Etats-Unis par Yates Investment Casing Wax of Chicago, Illinois sous le nom commercial 550-GOLD SLAB, B-4041. D'autres exemples de matériau seront proposés en détail plus bas.

Un premier guide (24) est couplé de façon opérationnelle à la fraiseuse (12) dont il commande le positionnement, comme par exemple sur la zone (26) de la face supérieure (28) de la couche initiale de matériau de moulage (22). La zone (26) peut être tridimensionnelle, sous la forme d'une cavité au sein de la couche de matériau de moulage (22).

De même que la fraiseuse (12), les alimentateurs en matériau de moulage (14) et en matériau de fabrication (16) peuvent également être couplés de façon opérationnelle au premier guide (24). Les couplages entre premier guide (24) et alimentateurs (14) et (16) correspondent aux références (15) et (17) de la figure. On peut aussi envisager de fixer les alimentateurs (14) et (16) à la tête porte-fraise de la fraiseuse (12) sans gêner sa course, de telle sorte que les mouvements des alimentateurs suivent en permanence ceux de la tête. Les déplacements des alimentateurs (14) et (16) pourront aussi être commandés par un organe indépendant comme le second guide (25), lui même asservi à un deuxième système de contrôle, en permettant ainsi simultanément le dépôt des matériaux et l'usinage des couches déjà appliquées.

Un second guide (25), cette fois-ci couplé au nettoyeur (18) de déchets, peut également servir à commander les mouvements de ce dernier selon un parcours programmé, comme en (27), et selon une technique qui sera proposée plus loin en détail.

Le système de contrôle (30), représenté schématiquement sur la figure couplé au guide (24), commande le fonctionnement de la fraiseuse (12), qui usine sélectivement les couches déposées de matériau de moulage ou de fabrication.

La fraiseuse (12) est une machine trois axes à commande numérique par ordinateur, (CNC) équipée d'un système de changement automatique d'outils, comme celle de modèle 760/22

DX fabriquée aux Etats-Unis par Bridgeport Machines Inc. (Bridgeport, Connecticut). La fraiseuse (12) inclut de préférence un présentoir (non représenté sur la figure) pouvant recevoir un éventail d'outils de coupe interchangeables, comme en (32), un changeur d'outils (non représenté), ainsi qu'un moteur de coupe (non représenté) pour l'outil (32). Pour garantir une production rapide et efficace de pièces dans les tolérances dimensionnelles admissibles, l'outil de coupe (32) peut être changé automatiquement durant l'usinage, permettant ainsi de lui substituer un outil de taille et de forme mieux adaptées à la géométrie de la pièce en cours de fabrication. Un petit outil sphérique sera par exemple préférable pour usiner les petits détails d'une paroi incurvée, un petit outil cylindrique sera utilisé pour usiner ceux d'une paroi verticale, tandis qu'un outil de plus grande taille servira à dégrossir des contours ou à travailler des surfaces moins détaillées. Cette interchangeabilité permet de produire des pièces dont la tolérance dimensionnelle varie d'une section à l'autre.

Le premier guide (24) se compose de préférence d'un ensemble de moteurs pas-à-pas, d'engrenages à vis sans fin et de coulisses linéaires (non représentés sur la figure) autorisant le positionnement de la fraiseuse (12) dans les trois dimensions. Le type et la puissance de la fraiseuse (12), de même que les caractéristiques des moteurs pas-à-pas et du moteur de coupe dépendent de nombreux facteurs, notamment de la nature des matériaux de moulage et de fabrication utilisés, ainsi que des tolérances dimensionnelles désirées pour la pièce à fabriquer. Le second guide (25) comprend également un ensemble de moteurs pas-à-pas, d'engrenages à vis sans fin et de coulisses linéaires pour commander les mouvements du nettoyeur (18) selon un parcours programmé.

Le système de contrôle (30) comprend de préférence un ordinateur commandant non seulement le premier guide (24), comme décrit plus haut, mais également le second guide (25), qui dirige le nettoyeur (18). De plus, grâce aux points de connexion (15) et (17) sur le premier guide (24), le système de contrôle (30) commande aussi le dépôt des matériaux de moulage et de fabrication. L'ordinateur du système de contrôle (30) contient de préférence un microprocesseur (34) de commande de l'ensemble des fonctions énumérées ci-dessus, ainsi qu'un système de CAO/FAO (36) fournissant les cotes de la pièce à produire. L'ensemble ordinateur/contrôleur (30) est de préférence capable de contrôler la position de la fraiseuse (12) en fonctionnement et programmé pour indiquer les limites dimensionnelles des différentes sections de la pièce à produire.

Les paragraphes suivants, complétés des figures restantes, décriront la production de différentes pièces tridimensionnelles.

La FIGURE 2 montre une première pièce, une sphère (38), dont la production ne nécessite que le nombre minimal d'étapes possible avec la méthode de la présente invention. Cette sphère (38) se compose d'une première et d'une seconde sections tridimensionnelles (38a) respectivement et (38b), avec pour plan de joint virtuel celui d'un équateur imaginaire, qui sont jointes d'un seul tenant l'une à l'autre et obtenues comme indiqué ci-après.

Sur la FIGURE 2A, une première couche de matériau de moulage (40), qui correspond à la couche (22) de la FIGURE 1, a été déposée sur le plateau (20) par l'alimentateur en matériau de moulage (14). La couche (40) est appliquée sur le plateau (20), soit à l'état solide, soit à l'état liquide et se solidifie au moment du dépôt ou peu après. Cette solidification de la couche est obtenue thermiquement, chimiquement, par rayonnement ou avec une autre technique. On

pourra égaliser la face supérieure (41) avec la fraiseuse. Des parois verticales (21) peuvent être employées de chaque côté de la couche pour agir en tant que conteneur de matériau de moulage (40) en complément du plateau (20). Ces parois
5 peuvent former une enceinte cylindrique ou une enceinte rectangulaire. Un tel assemblage est notamment utile quand la viscosité du matériau de moulage ou du matériau de fabrication à l'état liquide est relativement faible, ou quand son temps de durcissement est assez long.

10 Après dépôt et durcissement de la couche (40), le matériau de moulage est usiné dans ses trois dimensions par une fraiseuse commandée par ordinateur. La FIGURE 2B illustre le traitement ou l'usinage d'une couche (40), dans laquelle une cavité (42) a été taillée. La profondeur (d) de cette
15 cavité (42) est égale au rayon de la sphère (38). Les déchets (44) produits par l'usinage sont représentés sur le plancher de la cavité (42).

Sur les figures décrites plus bas, le plateau (20) et les plaques verticales (21) ne sont pas illustrés, mais il
20 est entendu que la première couche de matériau de moulage sera toujours considérée comme ayant été appliquée sur le plateau (20) et que les plaques verticales (21) seront employées quand les conditions l'exigeront.

La FIGURE 2C illustre l'élimination par le dispositif
25 de nettoyage (18) des déchets (44) produits lors de l'usinage de la cavité (42). Il est préférable d'utiliser un nettoyeur (18) équipé d'une tête aspirante (46) reliée à une conduite (48) appropriée pour évacuer les déchets (44) dans le sens indiqué par la flèche (50). Le second guide (25) (FIG. 1) est
30 conçu pour diriger le dispositif de nettoyage (18) non seulement vers la zone de cavité (42), mais également vers toute surface supérieure de la couche (40), comme la surface (41). On pourra sinon employer un jet d'air orientable pour souffler les poussières hors de la couche (40). A défaut, on

pourra également utiliser une brosse automatisée. Si les poussières sont métalliques, leur élimination pourra se faire par attraction magnétique ou électrostatique. Ces techniques de nettoyage pourront aussi être combinées.

5 La FIGURE 2D représente une couche de matériau de fabrication (52) déposée sur la couche de matériau de moulage (40). La partie (52a) de la couche (52) remplit la cavité (42), en formant ainsi la première section tridimensionnelle (38a) de la sphère (38) (FIG. 2). Le terme «remplir» (et les
10 expressions qui lui sont associées) se distingue ici de celui de «couche distincte» utilisé dans l'art antérieur : il sera employé quand le dépôt ou l'usinage du matériau de moulage ou de fabrication s'effectue au-dessous du niveau des surfaces supérieures des couches préalablement déposées. Dans cet
15 exemple, une fois déposée la couche (40), la cavité (42) de profondeur (d) (FIG. 2B) est creusée sous le niveau (e) de la surface (41) de la couche (40) ; de même, une partie du matériau de fabrication de la couche (52) vient combler la cavité (42), là encore sous le niveau (e).

20 La partie (52b) de la couche (52), également représentée sur la FIGURE 2D, couvre la couche (40). Le terme «couvrir» (et les expressions qui lui sont associées) sera employé quand le matériau déposé ne fait que s'appliquer à la surface externe d'une autre couche. Dans cet exemple, même
25 si, afin de simplifier la figure, la couche (52) est d'une étendue (w') identique à celle (w) de la couche (40), ce revêtement n'est pas toujours indispensable : la longueur (w') dépendra en fait des dimensions de la section tridimensionnelle suivante et pourra être inférieure à (w).
30 On dira que la couche (52) «couvre» la couche (40), quand il existe une interface simple, même partielle, entre la couche (52) et une partie de la surface (41) supérieure de la couche (40).

La ligne virtuelle (51) de la FIGURE 2D sert à diviser et à visualiser les parties (52a) et (52b) de la couche (52) de matériau de fabrication. Le matériau de fabrication de cette couche (52) pourra être une cire spéciale à usiner, telle que celle vendue aux Etats-Unis par Yates Investment Casing Wax (Chicago, Illinois) sous la référence B-3096. On pourra cependant envisager l'emploi d'autres formulations pour le matériau de fabrication, tant que ce dernier présente les caractéristiques requises de résistance mécanique, de dureté, de flexibilité et de résistance à la dégradation thermique.

La FIGURE 2E représente l'usinage par la fraiseuse (12) de la portion de superposition (52b) de la couche (52) de matériau de fabrication pour former la seconde section tridimensionnelle (38b) de la sphère (38). Une fois le fraisage terminé, et après nettoyage des déchets comme illustré par la FIGURE 2C, la sphère (38), maintenant finie, apparaît partiellement encastrée dans la couche de matériau de moulage (40), dont elle doit être dégagée, comme montré sur la FIGURE 2F.

Quand la dernière section tridimensionnelle d'un objet est finalement formée, elle doit être séparée du matériel de moulage. Cette séparation de la sphère (38) du matériau (40) de moulage peut faire intervenir des techniques variées, à condition que le matériau de fabrication ne soit pas affecté : moyens mécaniques, rayonnement (électrique, thermique, ultraviolet, etc.), ultrasons, vibrations, induction électrique, etc. La FIGURE 2F représente par exemple la phase initiale de séparation du matériau de moulage par liquéfaction de la couche (40) sous l'action d'un dispositif chauffant (54). L'élimination complète de la couche (40) permet de dégager entièrement la sphère (38) terminée (FIG. 2). Cette technique de séparation thermique de la couche (40) par le dispositif chauffant (54) est illustrée à titre

d'exemple ; mais si le matériau de moulage de la couche (40) est une cire soluble dans l'eau, et, si le matériau de fabrication de la couche (52) est une cire spéciale à fraiser, cette méthode thermique ne pourra pas être appliquée, car les deux matériaux ont des points de fusion voisins : dans ce cas, le matériau de moulage sera simplement dissous dans de l'eau.

Dans les paragraphes suivants, il est supposé que toutes les étapes d'usinage mentionnées sont effectuées de la manière indiquée dans les descriptifs des FIGURES 2B et 2E. Il est aussi supposé que toute étape de séparation du matériau de moulage se conformera aux moyens décrits à la FIGURE 2F. De plus, si l'élimination des déchets n'est pas évoquée pour les figures restantes, il est entendu que ce nettoyage peut, en conformité avec le descriptif de la FIGURE 2C, être effectué après l'usinage d'une couche quelconque de matériau de moulage ou de fabrication, et avant le dépôt d'une couche suivante de matériau de moulage ou de fabrication.

Le procédé de la présente invention permet aussi d'obtenir des pièces tridimensionnelles de forme plus complexe que celle de la sphère (38) de la FIGURE 2. Par exemple, la FIGURE 3 représente un objet en trois dimensions en forme d'haltère (56), se composant d'une partie de col (58) se terminant en éléments terminaux (60) et (62) à chaque extrémité.

Comme le montre la FIGURE 3A, la pièce (56) peut être subdivisée en plusieurs sections tridimensionnelles prédéterminée (56a), (56b), (56c) et (56d). L'épaisseur et le placement de ces sections sont des paramètres à programmer avec l'unité de CAO/FAO (36) du système ordinateur/contrôleur (30) (FIG. 1) qui peuvent varier en fonction des caractéristiques souhaitées de la pièce, comme son matériau de fabrication, ses tolérances dimensionnelles et sa vitesse

d'exécution. Sur la FIGURE 3A, on voit que la composition des sections (56c) et (56d) diffère de celle des sections (56a) et (56b). On remarque aussi que, si la pièce (56) devait être produite entièrement par des méthodes traditionnelles d'usinage, l'ajusteur aurait du mal à positionner
5 correctement un outil sous la partie en porte-à-faux de l'élément terminal (62). Avec de telles méthodes, seule la section (56d) pourrait être exécutée sans grande difficulté.

La FIGURE 3B représente une première couche de matériau
10 de moulage (64), déposée sur une surface de support de la manière indiquée dans le descriptif de la FIGURE 2A. On voit aussi qu'une première cavité (66) a été fraisée dans la couche (64).

La FIGURE 3C représente une première couche de matériau
15 de fabrication (68), déposée sur la couche initiale de matériau de moulage (64). La partie (68a) de la couche (68) est représentée remplissant la première cavité (66), en formant ainsi la première section tridimensionnelle (56a) de la pièce (56) (FIG. 3A). La partie de superposition (68b) de
20 la couche (68) couvre quant à elle la couche de matériau de moulage (64). La ligne virtuelle (61) de la figure sert à diviser et à visualiser ces parties (68a) et (68b) de la première couche de matériau de fabrication (68).

La FIGURE 3D représente la fraiseuse (12) usinant la
25 partie (68b) de superposition de la première couche de matériau de fabrication (68) et formant ainsi la seconde section tridimensionnelle (56b) de la pièce (56). Le contour de la partie encore inachevée de la section (56b) est indiqué sur cette figure par des traits tiretés. La hauteur de la
30 section (56b) montre l'avantage qu'offre la méthode de la présente invention sur celles déjà connues dans le domaine : la réalisation de la pièce se fait sans empilement de sections planes d'épaisseur constante et la vitesse d'exécution s'en trouve ainsi améliorée. La face supérieure

(69) de la section (56b) pourra être égalisée pour faciliter la suite de la fabrication.

Sur la FIGURE 3E, on voit qu'une seconde couche de matériau de moulage (70) a été déposée sur la première couche de matériau de moulage (64), de telle sorte que la seconde couche de matériau de moulage (74) couvre entièrement la seconde section tridimensionnelle (56b). La seconde couche de matériau de moulage (70) est représentée hachurée, car sa composition est différente de celle de la première couche de matériau de moulage (64). L'emploi de matériaux de moulage de formulations différentes pour la production d'une même pièce n'est pas toujours utile, mais il s'impose parfois, et la présente invention offre la flexibilité nécessaire pour ces applications particulières. Par exemple, la première couche de matériau de moulage (64) pourra être en cire soluble dans l'eau et la seconde couche de matériau de moulage (70) en céramique. Ou encore, la première (64) et la seconde (70) couches de matériau de moulage seront toutes deux en céramique, mais de formulations différentes. Cette différence de formulation est acceptable, tant que les caractéristiques requises du matériau de moulage et indiquées plus haut sont conservées, et tant que sa formulation reste compatible avec le matériau de fabrication avec lequel il sera en contact. Le terme «compatible» utilisé ici pour décrire la relation entre les matériaux de moulage et de fabrication signifie ici que la séparation du matériau de moulage du matériau de fabrication n'endommagera pas ou n'affectera pas ce dernier.

La FIGURE 3F représente une seconde cavité (72) usinée dans la seconde couche de matériau de moulage (70).

Sur la FIGURE 3G, on voit qu'une seconde couche de matériau de fabrication (74) a été déposée sur la seconde couche de matériau de moulage (70), de telle sorte qu'une partie (74b) débordante de la seconde couche de matériau de fabrication (74) remplisse la seconde cavité (72) pour former

la troisième section tridimensionnelle (56c) de la pièce (56) (FIG. 3A), et, de telle sorte que la partie (74b) de superposition de la couche (74) couvre la seconde couche de matériau de moulage (70). La ligne virtuelle (71) sert à
5 diviser et à visualiser sur la figure ces parties (74a) et (74b) de la seconde couche de matériau de fabrication (74). La seconde couche de matériau de fabrication (74) est représentée ombrée, car sa composition est différente de celle de la première couche de matériau de fabrication (68)
10 (FIG. 3C), avec lequel les première et seconde sections tridimensionnelles (56a) et (56b) ont été formées. Par exemple, la première couche de matériau de fabrication (68) pourra être une cire spéciale à usiner, comme indiqué plus haut, et la seconde couche de matériau de fabrication (74)
15 une résine époxyde ou un photopolymère. Ainsi, la pièce finie (56) peut être composée de matériaux de natures diverses. Différentes formulations peuvent être employées pour les matériaux de fabrication, à condition que ces derniers demeurent usinables une fois solidifiés et par ailleurs
20 compatibles avec le matériau de moulage avec lequel ils sont en contact.

La FIGURE 3H représente la fraiseuse (12) usinant la partie (74b) de superposition de la seconde couche de matériau de fabrication (74) et formant ainsi la quatrième
25 section tridimensionnelle (56d) de la pièce (56). Le contour de la partie encore inachevée de la section (56d) est indiqué sur cette figure par des traits tiretés. La face supérieure (75) de la section (56d) pourra être égalisée par la suite, si besoin est. Une fois l'étape décrite par la figure 3H
30 terminée, les couches de matériau de moulage (64) et (70) peuvent être éliminées selon les techniques indiquées dans le descriptif de la FIGURE 2F et applicables aux types particuliers de matériaux de moulage ayant été utilisés.

Cette séparation des couches de matériau de moulage permet de dégager la pièce (56) maintenant terminée (FIG. 3).

Les étapes décrites par les FIGURES 3B-3H peuvent être répétées pour fabriquer en trois dimensions d'autres sections d'une pièce plus importante. Par exemple, les FIGURES 4 et 4A
5 représentent un autre objet tridimensionnel (76) se composant de la pièce (56) (FIG. 3) et d'une partie conique inversée dressée (78) naissant de la face supérieure (75). Cette partie (78) est subdivisée en deux sections
10 tridimensionnelles distinctes, (76e) et (76f), qui viennent s'ajouter aux quatre sections constituant déjà la pièce (56) d'origine. Comme pour la pièce (56), l'épaisseur et le placement de ces éléments sont des paramètres à programmer avec l'unité de CAO/FAO (36) du système ordinateur/contrôleur
15 (30) (FIG. 1) et varient comme indiqué plus haut.

La FIGURE 4B représente la dernière couche de matériau de moulage déposée directement sur la section tridimensionnelle précédente. Une troisième couche de matériau de moulage (80) a ainsi été appliquée sur la seconde
20 couche de matériau de moulage (70) et couvre entièrement la section tridimensionnelle fabriquée immédiatement précédente (76d) (correspondant à la section (56d) de la FIGURE 3A).

Sur la FIGURE 4C, on voit qu'une cavité (82) a été taillée dans la troisième couche de matériau de moulage (80).

25 La FIGURE 4D représente la dernière couche de matériau de fabrication déposée directement sur la couche de matériau de moulage précédente. Une troisième couche de matériau de fabrication (84) a ainsi été appliquée sur la troisième couche de matériau de moulage (80), de telle sorte que la
30 partie débordante (84a) de la couche (84) remplisse la cavité (82) correspondante pour former la cinquième section tridimensionnelle (76d), et de telle sorte que la partie (84b) de superposition de la couche (84) couvre la troisième couche de matériau de moulage (80).

La FIGURE 4E représente la fraiseuse (12) usinant la partie (84b) de superposition de la troisième couche de matériau de fabrication (84) et formant ainsi la sixième section tridimensionnelle (76f). Le contour de la partie encore inachevée de la section (76f) est indiqué sur cette figure par une ligne en traits tiretés. Après un éventuel surfacage final, et une fois éliminées les couches de matériau de moulage (64), (70) et (80), la pièce (76) maintenant terminée (FIG. 4 et 4A) est dégagée.

10 Le procédé de production de la présente invention permet aussi d'obtenir des pièces tridimensionnelles creuses. Le terme «creux» sera utilisé pour toute pièce finie présentant au moins un vide en un point quelconque de son volume.

15 Les FIGURES 5 et 5A représentent une sphère creuse (86) se composant d'une première et d'une seconde sections tridimensionnelles (86a) et (86b) respectivement, séparées par la ligne virtuelle (91). Les parois internes des sections (86a) et (86b) délimitent l'enveloppe (88) et le vide (90).

20 Sur les FIGURES 5B et 5C, on voit qu'une couche de matériau de moulage (92) a été déposée et qu'une première cavité (94) a été taillée dans la couche (92).

De plus, le matériau de moulage en excès a été éliminé par la fraiseuse, de telle sorte que la couche de matériau de moulage (92) ait des faces extérieures égalisées comme en (95).

La FIGURE 5D représente une couche de matériau de fabrication (96) déposée sur la couche de matériau de moulage (92) de façon que la couche (96) comble maintenant la première cavité (94).

30 Sur la FIGURE 5E, le matériau de fabrication de la couche (96) qui dépassait le niveau de la surface (95) a été éliminé. On voit aussi qu'une seconde cavité (98) a été taillée dans le reste de la couche (96) de matériau de

fabrication pour former la première section tridimensionnelle (86a) de la sphère creuse (86).

La FIGURE 5F représente une nouvelle couche de matériau de moulage (100) déposée sur la couche de matériau de moulage (92), de telle sorte que la partie débordante (100a) de la couche (100) remplisse la seconde cavité (98) pour former une première section (102a) de l'empreinte de la cavité, et de telle sorte que la partie (100b) de la couche (100) couvre la couche (92) et la première section creuse (86a) tridimensionnelle. La ligne virtuelle (91) sépare la couche de matériau de moulage (100) en ces deux parties (100a) et (100b).

La FIGURE 5G représente la fraiseuse (12) usinant la partie (100b) de la couche de matériau de moulage (100) et formant ainsi une seconde section (102b) de l'empreinte de cavité (102). Le contour de la partie encore inachevée de l'empreinte (102) est indiqué sur cette figure par des traits tiretés.

Sur la FIGURE 5H, une nouvelle couche de matériau de fabrication (104) est déposée sur une couche de matériau de moulage (92), de telle sorte que la couche (104) couvre entièrement la seconde section (102b) de l'empreinte de cavité (102).

La FIGURE 5I représente la couche de matériau de fabrication (104) en cours d'usinage par la fraiseuse (12) pour former la seconde section creusée tridimensionnelle (86b) de la sphère creuse (86). Le contour de la partie encore inachevée de la section (86b) est indiqué sur cette figure par une ligne en traits tiretés. Les sections (86a) et (86b) forment l'enveloppe (88) contenant l'empreinte de cavité (102).

Les FIGURES 5J et 5K indiquent d'autres méthodes d'élimination du matériau de moulage formant l'empreinte de

cavité (102) pour libérer le vide (90) de l'enveloppe (88) (FIG. 5A).

Sur la FIGURE 5J, on voit qu'un évent (106) a été introduit à travers la seconde section tridimensionnelle creuse (86b). Une tubulure (108) est branchée, à une
5 extrémité, sur la sortie de l'évent (106), et, à l'autre extrémité, sur une source aspirante (110). La mise en marche de la source (110) permet d'éliminer le matériau de l'empreinte de cavité (102') ; ce matériau doit se trouver
10 dans un état gazeux ou liquide pour pouvoir être aspiré hors de l'enveloppe (88) dans la direction indiquée par la flèche (112). Si nécessaire, on procédera à la dissolution partielle du matériau de l'empreinte (102) avant son élimination. Cette dissolution pourra se faire à l'aide d'un solvant, comme de
15 l'eau ou du kérosène, en fonction de la nature chimique du matériau de l'empreinte (102).

La FIGURE 5K représente un procédé thermique d'élimination par diffusion du matériau de l'empreinte de cavité. Ce matériau (102'') est différent de celui de la
20 couche de matériau de moulage (92), car son point de fusion doit être inférieur à celui de la couche (92). La FIGURE 5K montre également la seconde section tridimensionnelle creuse (86b) formée d'un matériau poreux, tel qu'une céramique, comme le montrent les pores (114) dont la taille a été
25 exagérée pour les besoins de la représentation. Les sections de la sphère creuse (86a) et (86b), le matériau de moulage de la couche (92) et le matériau (102'') sont traités dans un environnement chauffé, tel que celui défini par l'enceinte thermique (116). Le chauffage est poursuivi, entraînant
30 l'ébullition du matériau (102'') qui atteint l'état de vapeur, la vapeur s'échappe à travers les nombreux pores (114) dans l'environnement (117) dans le sens indiqué par les flèches (118).

Le matériau de l'empreinte de cavité (102) peut aussi être éliminé par un procédé dérivé, dont des étapes sont illustrées par les FIGURES 5J et 5K : il peut en effet être chauffé et liquéfié pour permettre sa coulée par une
5 ouverture à travers une section tridimensionnelle.

L'enceinte (117) pourra aussi servir à d'autres applications que celle décrite par la FIGURE 5K, comme au refroidissement de l'air ambiant pour accélérer la solidification des cires. On pourra aussi envisager de la
10 remplir de gaz inerte pour empêcher la formation de produits dérivés indésirables au cours des étapes de traitement des matériaux de moulage ou de fabrication.

Le procédé de la présente invention permet également de produire une pièce tridimensionnelle ayant une partie évidée, telle que celle représentée en coupe sur la FIGURE 6 : on
15 voit que la pièce (120) présente effectivement une face évidée (122) qui forme, par rapport au plan contenant l'une et/ou l'autre, des faces planes inférieures (121) et (123) une empreinte arquée. Les étapes nécessaires à la production
20 de la pièce (120) sont décrites ci-après.

Sur la FIGURE 6A, on voit qu'une couche de matériau de moulage (124) a été déposée.

La FIGURE 6B représente la couche de matériau de moulage (124) en cours d'usinage par la fraiseuse (12) pour
25 produire une saillie (126), qui bien qu'ayant ici une forme arrondie ou hémisphérique, pourrait en fait prendre une forme quelconque, en fonction de celle voulue pour la partie évidée. La FIGURE 6B illustre la saillie (126) émergeant des faces planes (124a) et (124a') obtenues par usinage de la
30 couche (124). Le contour de la partie encore inachevée de la saillie (126) est indiqué sur cette figure par des lignes en traits tiretés.

La FIGURE 6C représente une couche de matériau de fabrication (128) déposée sur la couche de matériau de

moulage (126), de telle sorte que la couche (128) couvre entièrement la saillie (126).

La FIGURE 6D représente la fraiseuse (12) en train d'usiner la pièce (120) dans la couche de matériau de fabrication (128). Le contour de la partie encore inachevée de la pièce (120) est indiqué par la ligne en traits tiretés (129).

La FIGURE 6E montre l'élimination de la couche de matériau de moulage (124) usiné : cette dernière est plongée entre les parois d'un bac (132) contenant un solvant (130), qui pourra être de l'eau si le matériau de moulage est une cire soluble dans l'eau. Sur la FIGURE 6E, on voit la couche (124) en cours de dissolution en une masse de matériau (124'). Une submersion prolongée du matériau de moulage permet de l'éliminer entièrement. Il est entendu que les méthodes d'élimination du matériau de moulage indiquées dans le commentaire de la FIGURE 2F peuvent aussi être éventuellement employées.

Comme la forme de la pièce (120) est simple, sans contre-dépouille, elle peut être exécutée complètement à partir d'une application unique de matériau de fabrication et en une seule étape d'usinage. Il est cependant intéressant de noter que d'autres formes de pièces, comme celles présentant à la fois des contre-dépouilles et un évidement, peuvent être obtenues en combinant les étapes des FIGURES 6A à 6E avec celles des figures précédentes et en fabriquant successivement une série de sections tridimensionnelles pour produire finalement l'objet voulu.

De par sa nature, cette description ne présente que quelques exemples des réalisations possibles avec la présente invention. Mais les spécialistes du domaine pourront facilement envisager la multitude des possibilités offertes. Il est important de souligner que les étapes de fabrication décrites par les FIGURES 2A à 2F, 3B à 3H, 4B à 4E, 5B à 5K

et 6A à 6E, peuvent être combinées en une quelconque configuration pour produire des pièces tridimensionnelles d'une grande variété de contours externes et internes. Une telle variété caractérise l'esprit et l'étendue de cette invention, que définissent les revendications annexées ci-après.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de production d'un objet en trois dimensions, dont les étapes sont les suivantes :

dépôt d'une première couche de matériau de moulage
5 sur une surface de support ;

usinage d'une première cavité dans cette première couche de matériau de moulage ;

dépôt d'une première couche de matériau de fabrication sur cette première couche de matériau de moulage,
10 de telle sorte qu'une partie de recouvrement de cette première couche de matériau de fabrication remplisse ladite première cavité pour former une première section tridimensionnelle de la pièce voulue, et, de telle sorte qu'une partie de cette première couche de matériau de
15 fabrication couvre ladite première couche de matériau de moulage ;

et usinage de la partie recouvrante de la première couche de matériau de fabrication pour former une seconde section tridimensionnelle de la pièce voulue.

20 2. Procédé selon la revendication 1 comprenant en outre les étapes suivantes :

dépôt d'une seconde couche de matériau de moulage, ladite seconde couche de matériau de moulage couvrant la seconde section tridimensionnelle de ladite pièce ;

25 et usinage d'une seconde cavité dans ladite seconde couche de matériau de moulage.

3. Procédé selon la revendication 2 comprenant en outre l'étape de remplissage de ladite seconde cavité avec du matériau de fabrication afin de former une troisième section
30 tridimensionnelle de ladite pièce.

4. Procédé selon la revendication 2 comprenant en outre les étapes de :

dépôt d'une seconde couche de matériau de fabrication sur ladite seconde couche de matériau de moulage, de telle sorte qu'une partie débordante de ladite seconde couche de matériau de fabrication remplisse la seconde cavité
5 pour former une troisième section tridimensionnelle de ladite pièce, et, de telle sorte qu'une partie recouvrante de ladite seconde couche de matériau de fabrication couvre ladite seconde couche de matériau de moulage ;

et usinage de la partie recouvrante de la seconde
10 couche de matériau de fabrication pour former une quatrième section tridimensionnelle de ladite pièce.

5. Procédé selon la revendication 4, selon lequel la composition d'un matériau d'une couche de moulage donnée est différente de celle d'une autre couche de matériau de
15 moulage.

6. Procédé selon la revendication 4, selon lequel la composition d'une couche de matériau de fabrication donnée est différente de celle d'une autre couche de matériau de fabrication.

20 7. Procédé selon la revendication 4, qui comprend en outre les étapes suivantes :

dépôt d'une nouvelle couche de matériau de moulage sur la section tridimensionnelle immédiatement précédente de ladite pièce ;

25 usinage d'une cavité correspondante dans cette nouvelle couche de matériau de moulage ;

dépôt d'une nouvelle couche de matériau de fabrication sur cette dernière couche de matériau de moulage, de telle sorte qu'une partie débordante de cette nouvelle
30 couche de matériau de fabrication remplisse ladite cavité correspondante pour former une autre section tridimensionnelle de ladite pièce, et, de telle sorte qu'une partie recouvrante de cette dernière couche de matériau de

fabrication couvre ladite dernière couche de matériau de moulage ;

usinage de la partie recouvrante de la nouvelle couche de matériau de fabrication pour former encore une
5 autre section tridimensionnelle de ladite pièce ;

et répétition, jusqu'à ce que la pièce soit entièrement formée, desdites étapes de dépôt d'une nouvelle couche de matériau de moulage sur une section tridimensionnelle immédiatement de la pièce précédente,
10 d'usinage d'une cavité correspondante dans cette dernière couche de matériau de moulage, de dépôt d'une nouvelle couche de matériau de fabrication et d'usinage de la partie recouvrante de cette dernière couche de matériau de fabrication.

15 8. Procédé selon la revendication 7, selon lequel la composition d'une couche de matériau de moulage est différente de celle d'une autre couche de matériau de moulage.

9. Procédé selon la revendication 7, selon lequel la
20 composition d'une couche de matériau de fabrication donnée est différente de celle d'une autre couche de matériau de fabrication.

10. Procédé de production d'une pièce tridimensionnelle creuse, comprenant les étapes de :

25 dépôt d'une couche de matériau de moulage ;

usinage d'une première cavité dans cette couche de matériau de moulage ;

remplissage de cette première cavité par une couche de matériau de fabrication ;

30 usinage d'une seconde cavité dans cette couche de matériau de fabrication pour former une première section tridimensionnelle creuse de ladite pièce ;

dépôt d'une autre couche de matériau de moulage sur ladite une couche de matériau de moulage, de telle sorte qu'une partie débordante de ladite nouvelle couche de matériau de moulage remplisse ladite seconde cavité pour
5 former une première partie d'une empreinte de cavité, et, de telle sorte qu'une partie recouvrante de cette nouvelle couche de matériau de moulage couvre ladite première section tridimensionnelle creuse ;

usinage de la partie recouvrante de ladite autre
10 couche de matériau de moulage pour former une seconde partie de l'empreinte de cavité ;

dépôt d'une nouvelle couche de matériau de fabrication, ladite autre couche de matériau de fabrication couvrant la seconde partie de l'empreinte de cavité ;

15 usinage de ladite autre couche de matériau de fabrication pour former une seconde section tridimensionnelle creuse de ladite pièce, dans laquelle lesdites première et seconde sections creuses tridimensionnelles forment une enveloppe autour de l'empreinte de cavité ;

20 et élimination du matériau de l'empreinte de ladite enveloppe.

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel l'étape d'élimination de l'empreinte de cavité implique les étapes suivantes :

25 création d'un événement à travers au moins l'une des sections tridimensionnelles creuses ;

et élimination par cet événement du matériau de moulage composant l'empreinte.

12. Procédé selon la revendication 10, dans lequel
30 l'étape d'élimination de l'empreinte de cavité implique les étapes suivantes :

fabrication d'au moins l'une des sections tridimensionnelles creuses, à partir d'un matériau de fabrication poreux une fois durci ;

et élimination à travers ces pores du matériau de
5 moulage composant l'empreinte.

13. Procédé de production d'une pièce tridimensionnelle ayant une face évidée, comprenant les étapes de :

dépôt d'une couche de matériau de moulage ;

10 usinage d'une saillie à la surface de cette couche de matériau de moulage ;

dépôt d'une couche de matériau de fabrication sur la couche de matériau de moulage ;

et usinage de ladite couche de matériau de
15 fabrication pour former une section tridimensionnelle de ladite pièce.

14. Procédé selon la revendication 13 comportant en outre l'étape d'élimination de la couche de matériau de moulage, une fois terminé l'usinage du matériau de
20 fabrication.

15. Dispositif de production d'une pièce en trois dimensions, qui comporte :

des moyens de fraisage ;

un système de guidage relié fonctionnellement aux
25 moyens de fraisage pour commander le positionnement de ces derniers dans une zone prédéterminée ;

un alimentateur en matériau de moulage relié fonctionnellement par le système de guidage ;

un alimentateur en matériau de fabrication relié
30 fonctionnellement par le système de guidage ;

et un système de contrôle relié fonctionnellement au système de guidage et ledit système de contrôle commandant le fonctionnement des moyens de fraisage pour fraiser

sélectivement le matériau de moulage et le matériau de fabrication.

16. Dispositif selon la revendication 15, dans lequel le système de contrôle inclut un ordinateur relié
5 fonctionnellement au système de guidage pour contrôler le positionnement des moyens de fraisage au cours de l'enlèvement du matériau étranger et ledit ordinateur programmé avec les cotes déterminées d'une pluralité de sections tridimensionnelles de ladite pièce.

10 17. Dispositif selon la revendication 15, qui comporte un alimentateur en matériau de moulage et un alimentateur en matériau de fabrication, tous deux capables de distribuer plusieurs matériaux tels que différents matériaux puissent
comporter le matériau de moulage et le matériau de
15 fabrication de natures différentes, de telle sorte que la composition de la pièce finie puisse être hétérogène.



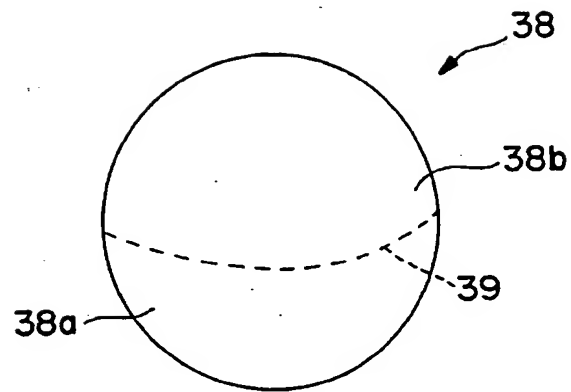


FIG. 2

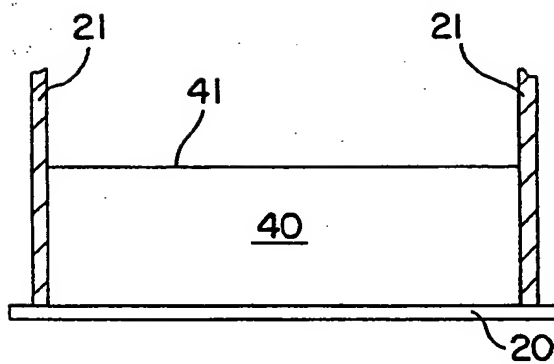


FIG. 2A

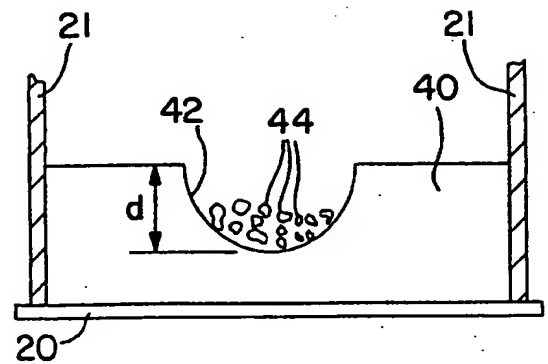


FIG. 2B

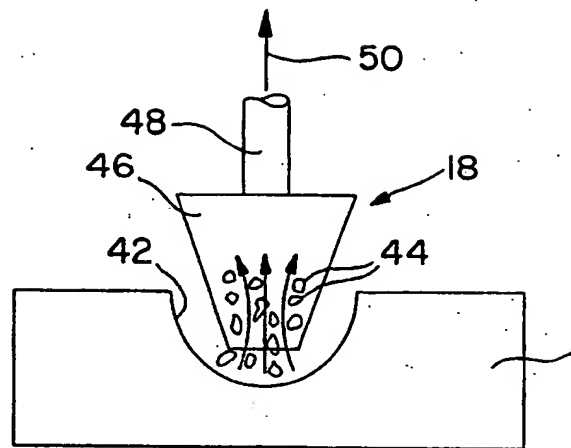


FIG. 2C

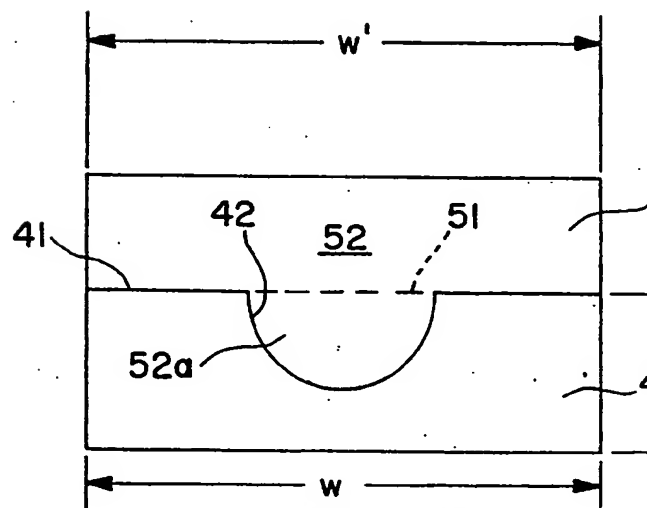


FIG. 2D

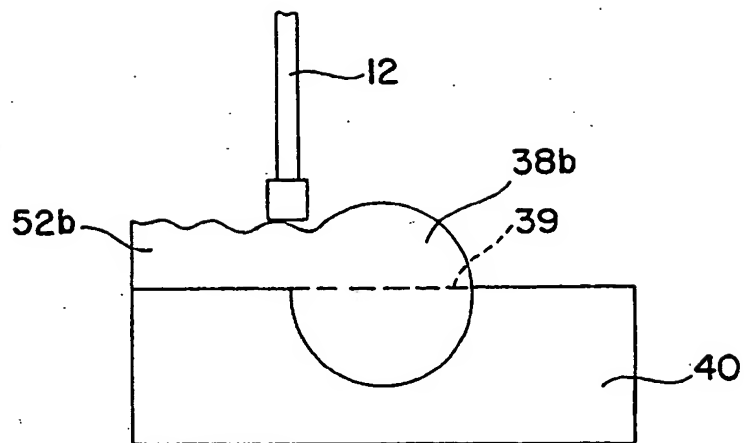


FIG. 2E

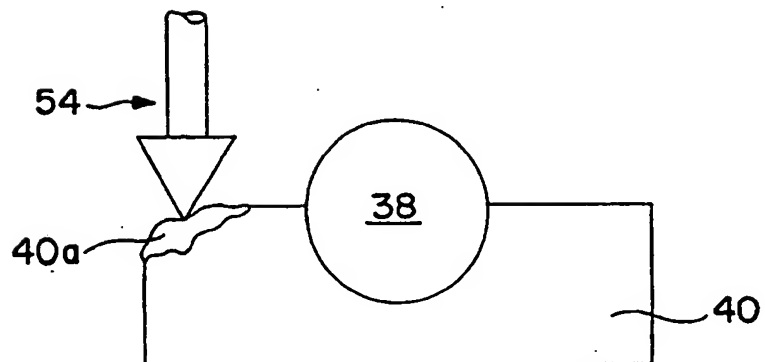
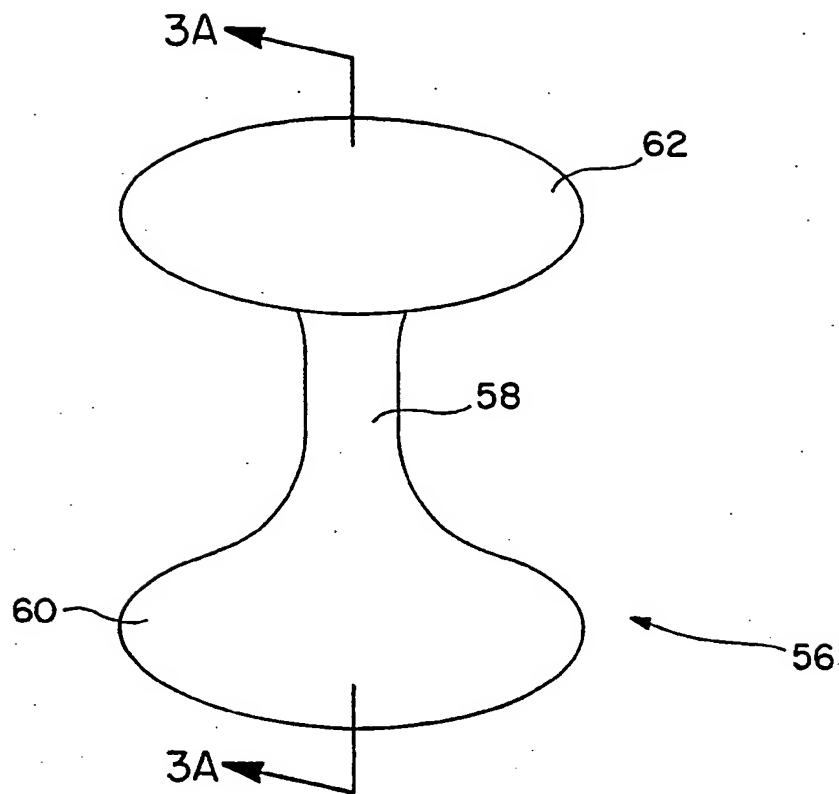
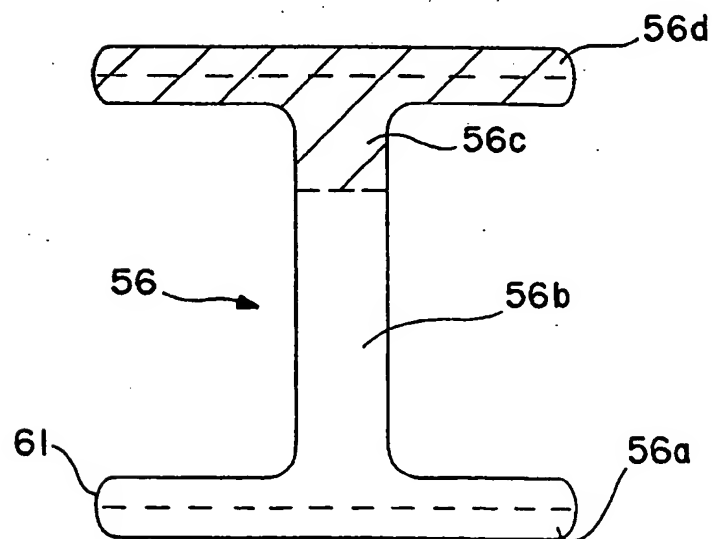


FIG. 2F

**FIG. 3****FIG. 3A**

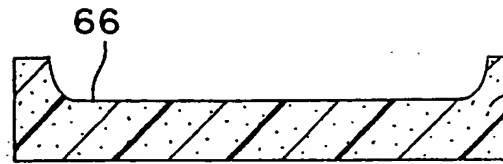


FIG. 3B

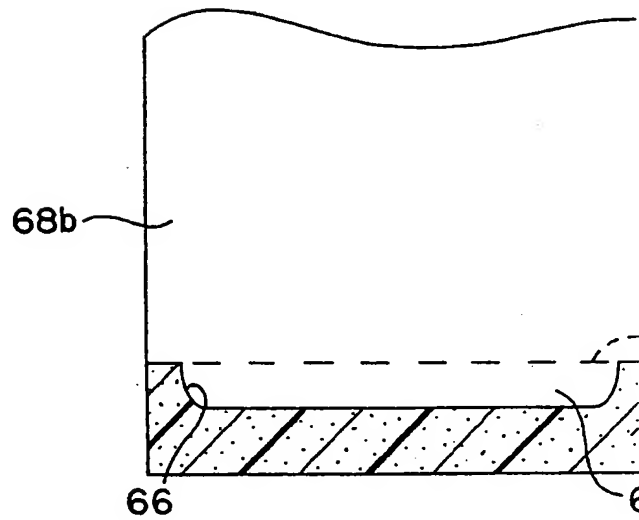


FIG. 3C

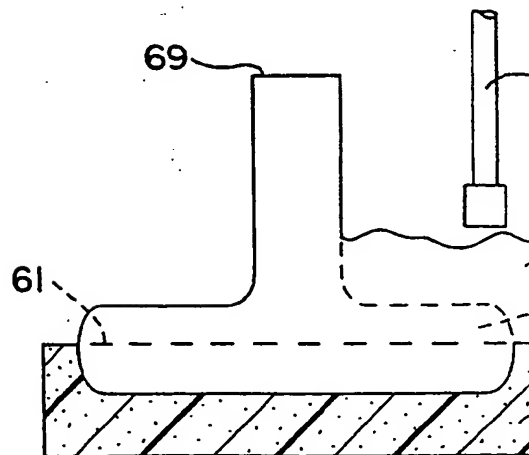


FIG. 3D

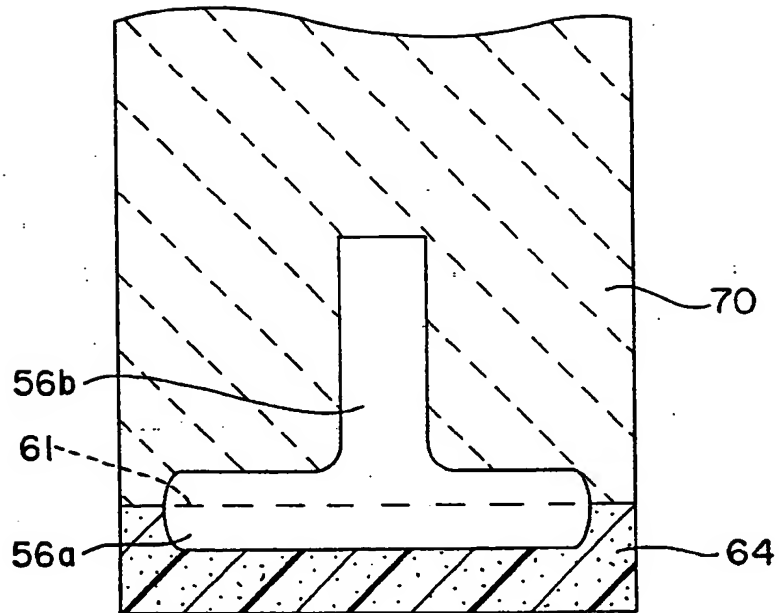


FIG. 3E

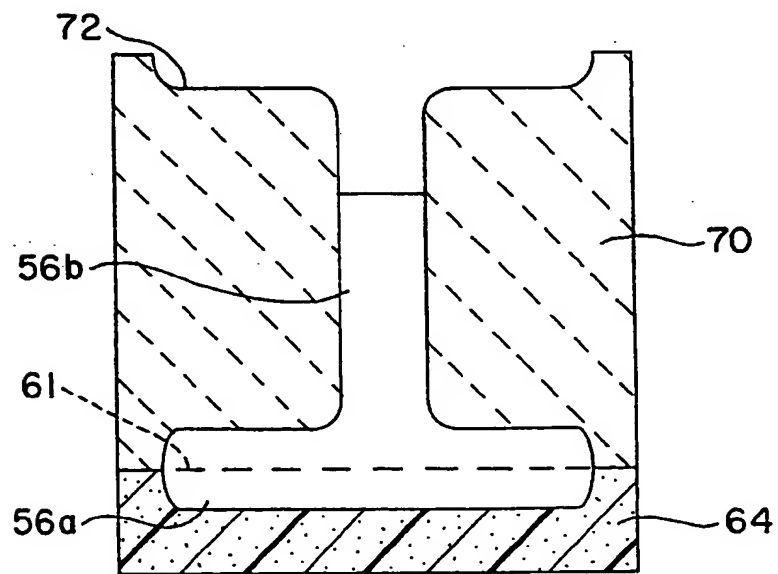


FIG. 3F

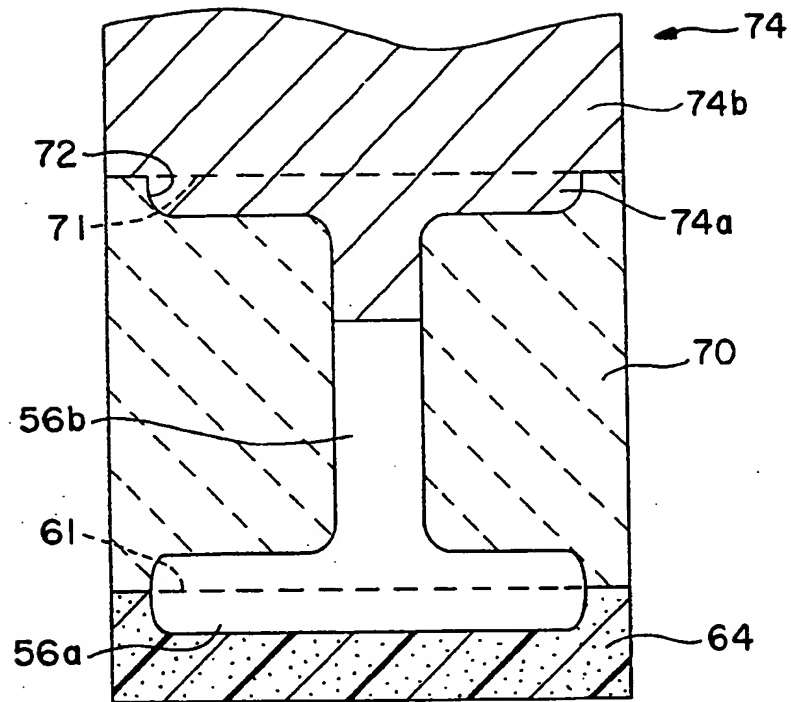


FIG. 3G

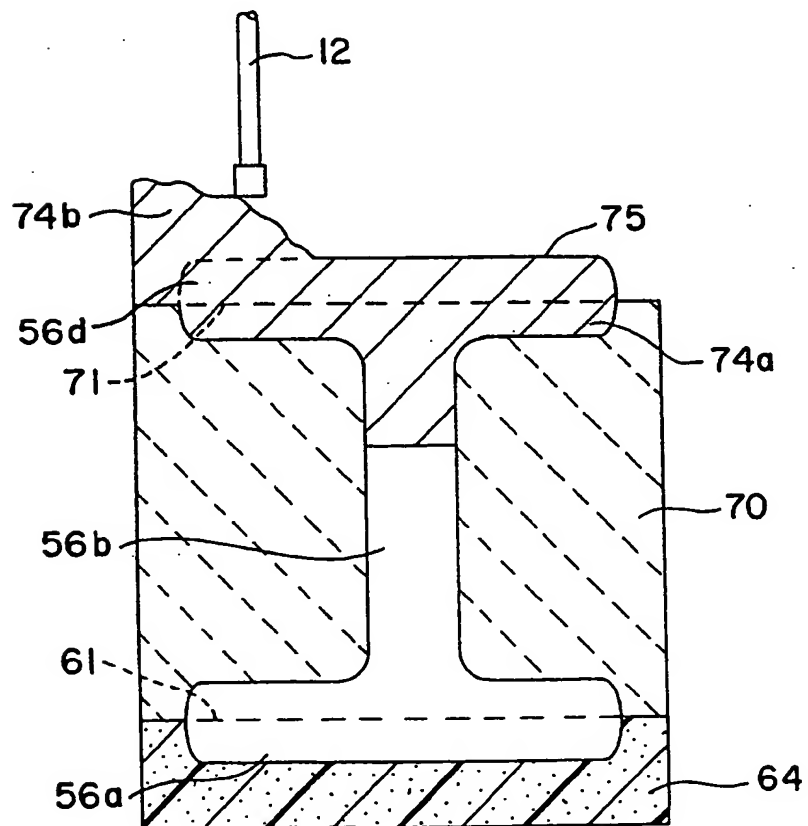
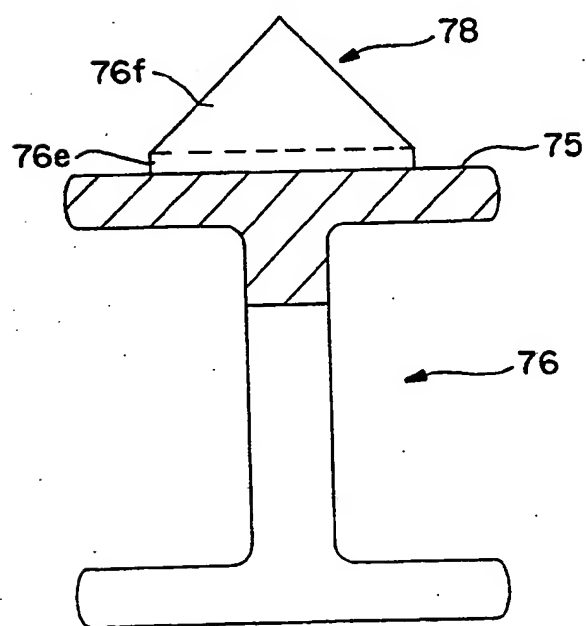
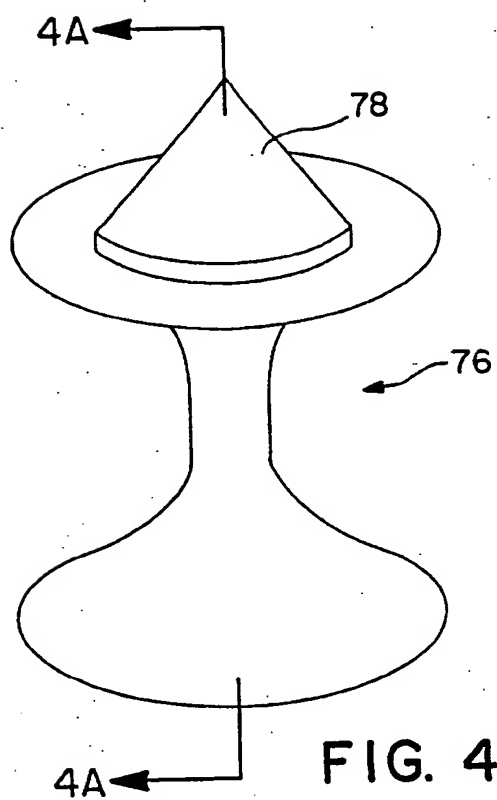


FIG. 3H

9/19



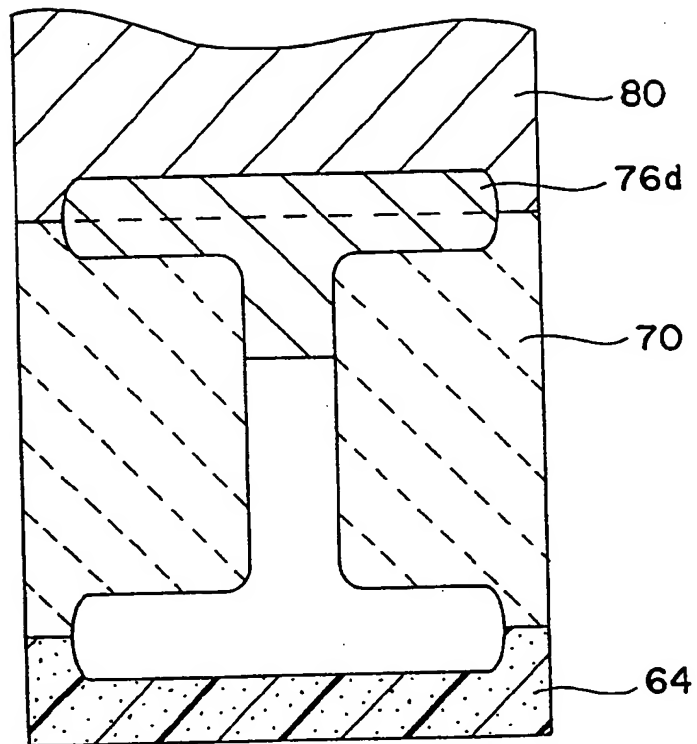


FIG. 4B

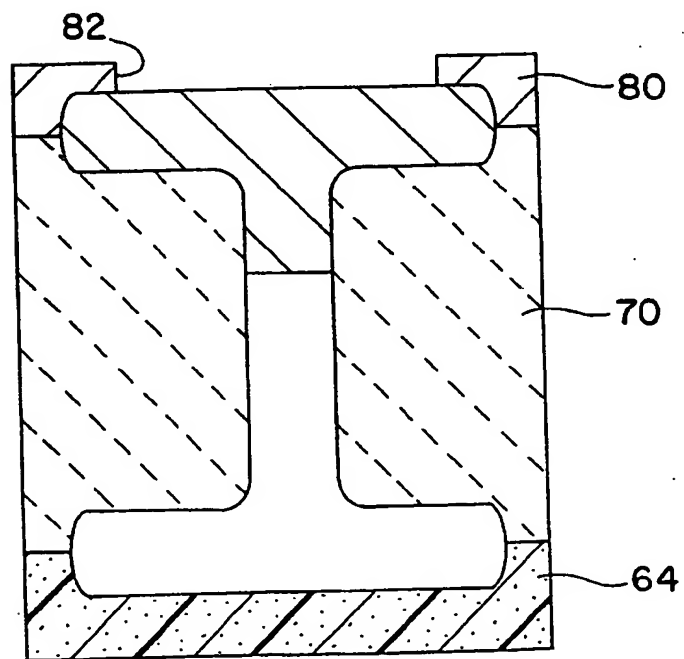


FIG. 4C

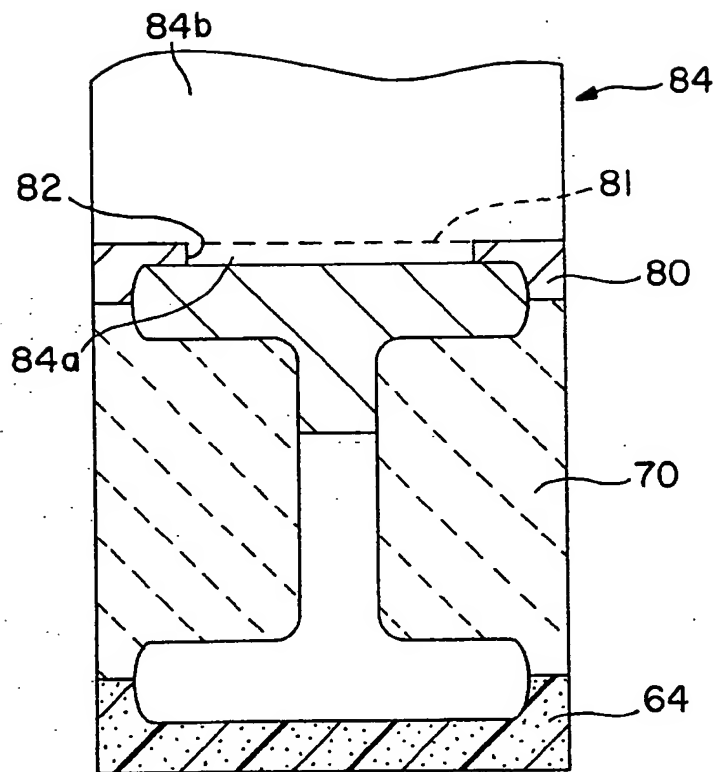


FIG. 4D

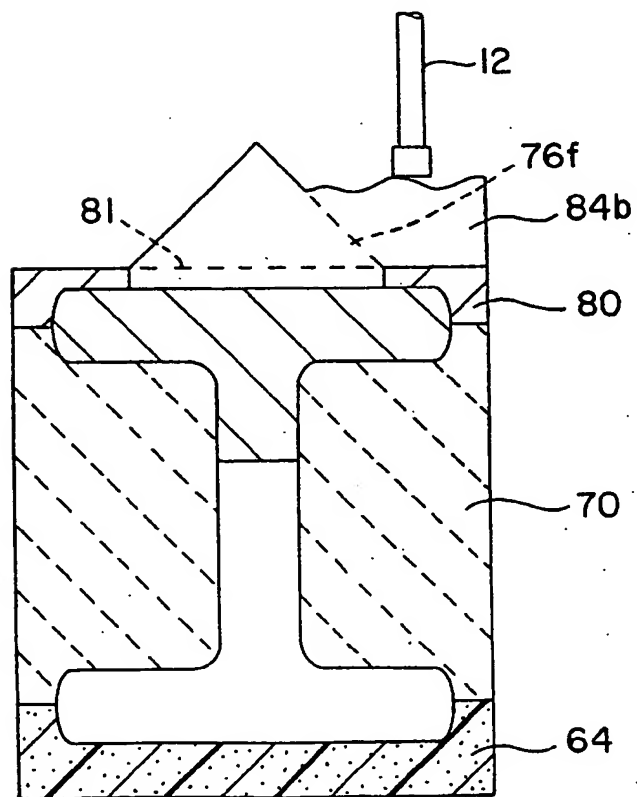


FIG. 4E

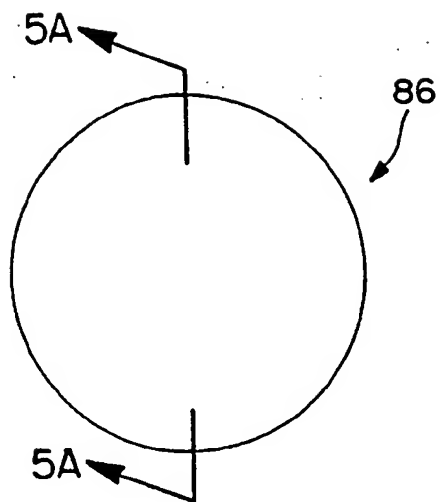


FIG. 5

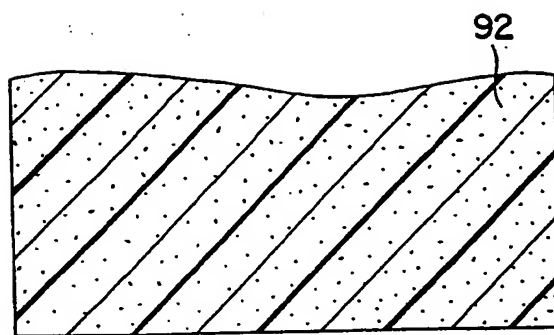


FIG. 5B

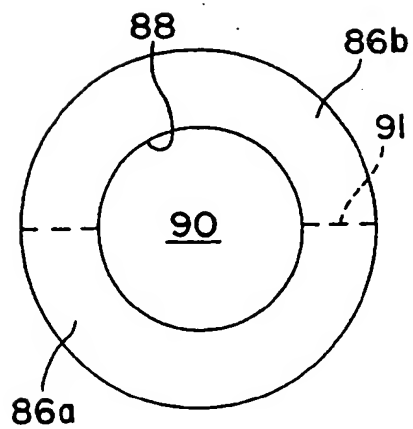


FIG. 5A

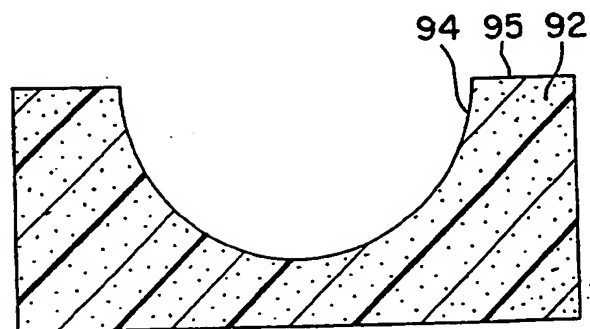


FIG. 5C

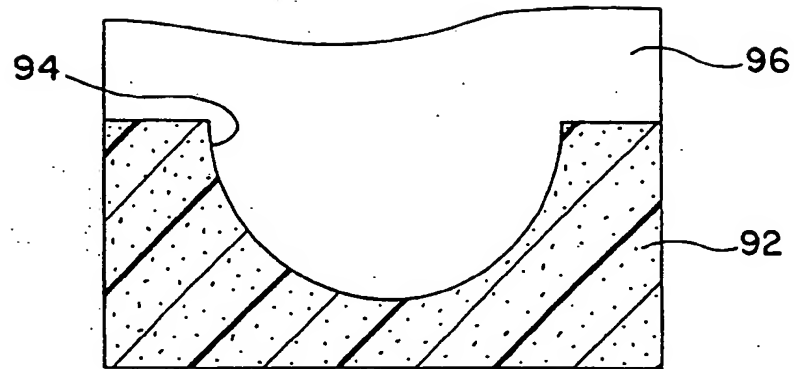


FIG. 5D

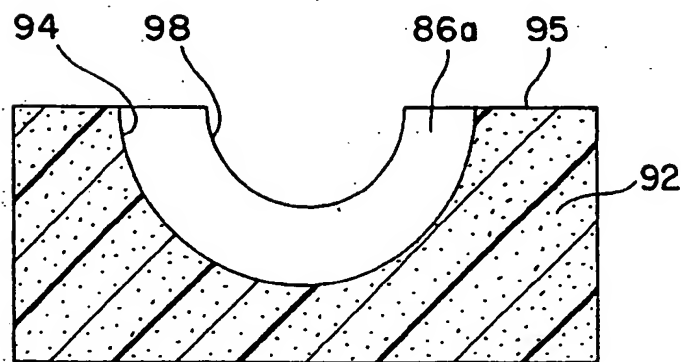


FIG. 5E

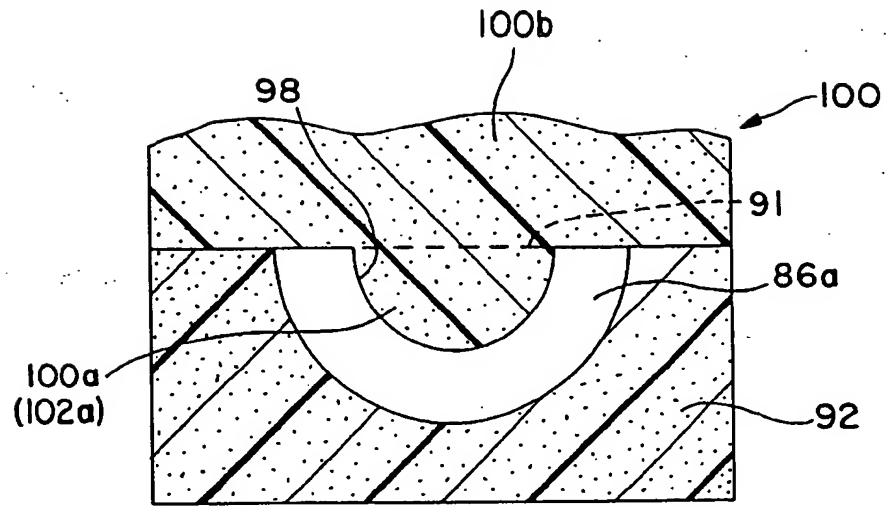


FIG. 5F

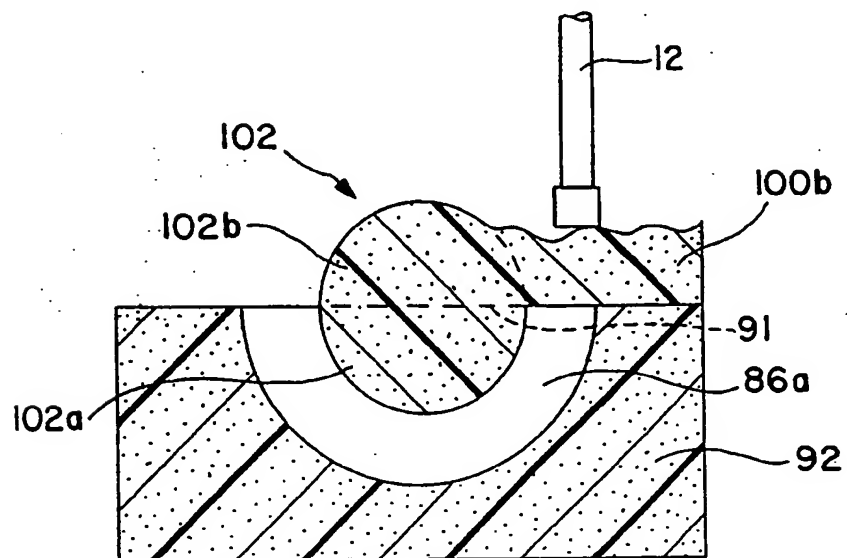


FIG. 5G

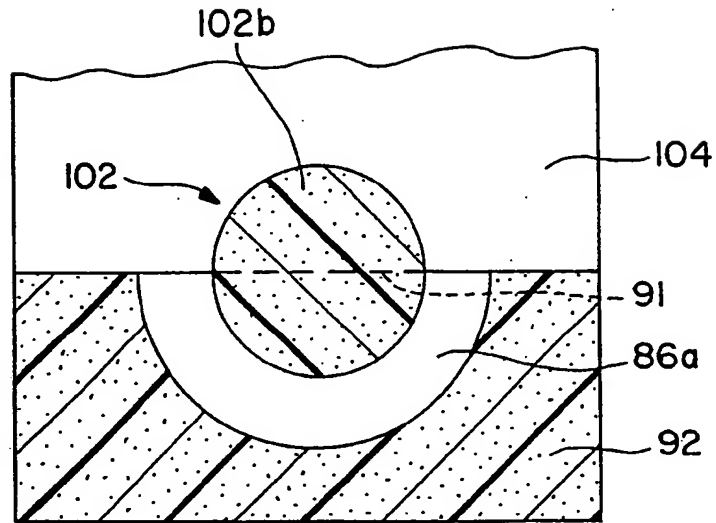


FIG. 5H

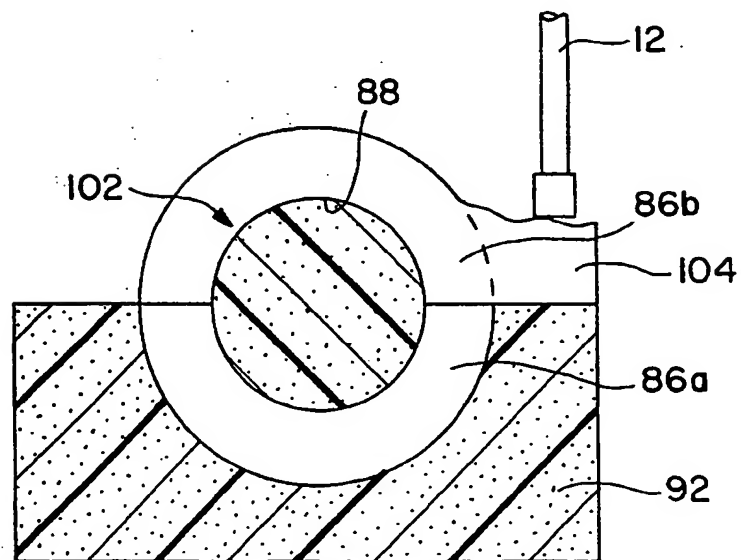


FIG. 5I

16/19

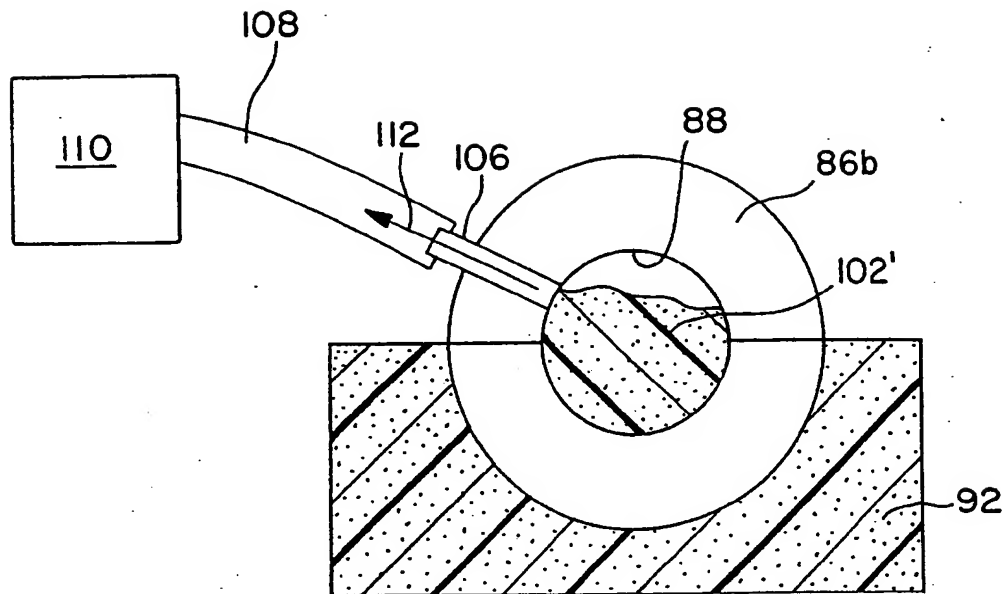


FIG. 5J

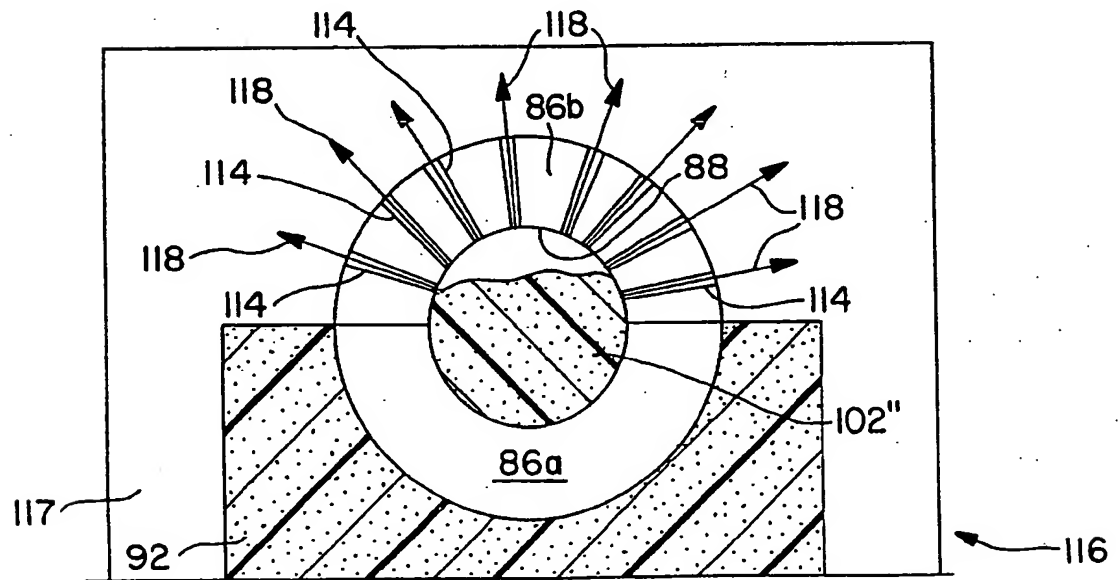
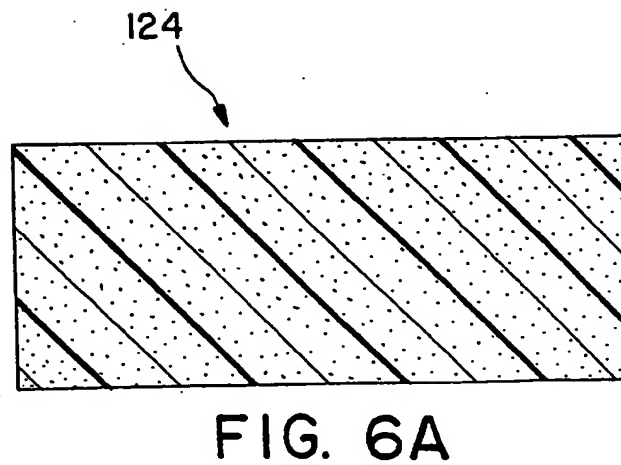
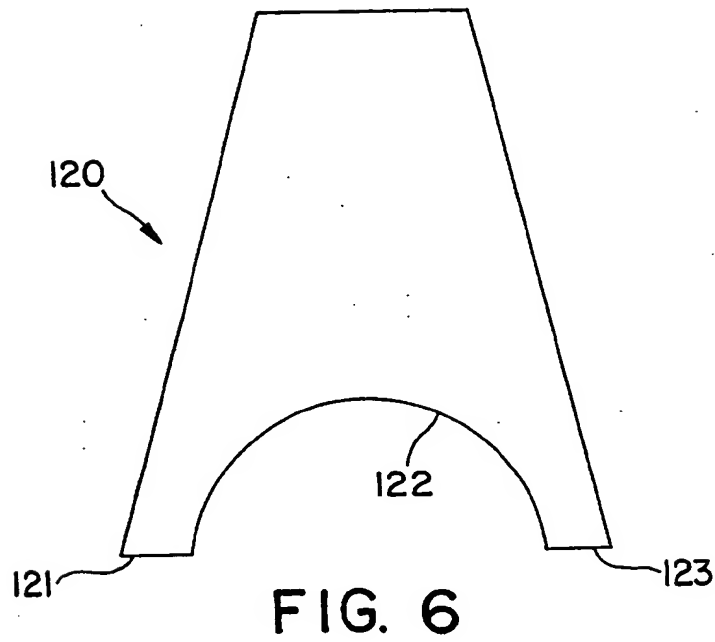


FIG. 5K



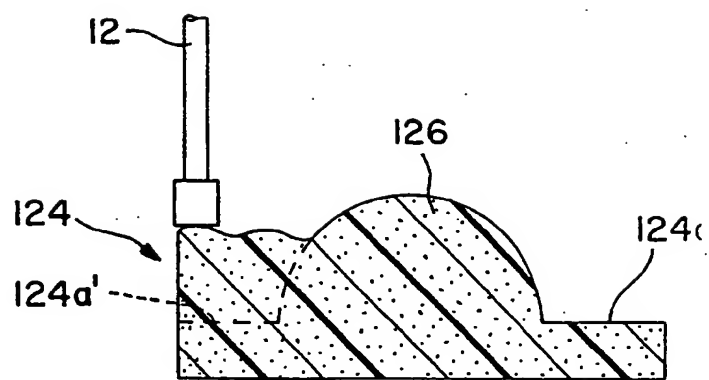


FIG. 6B

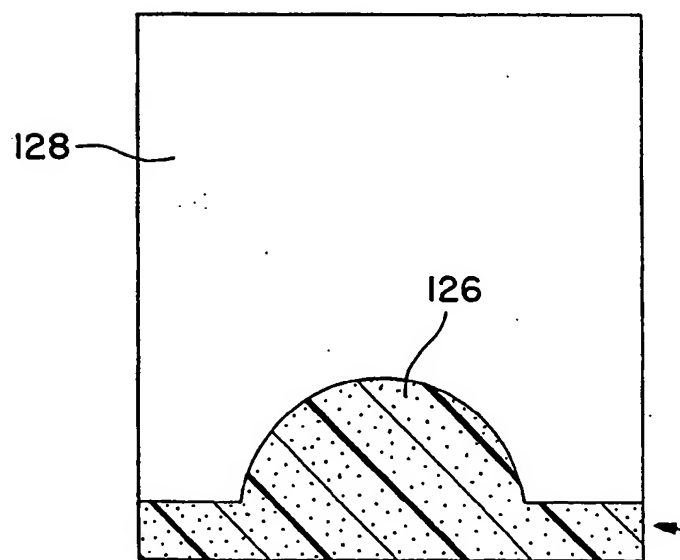


FIG. 6C

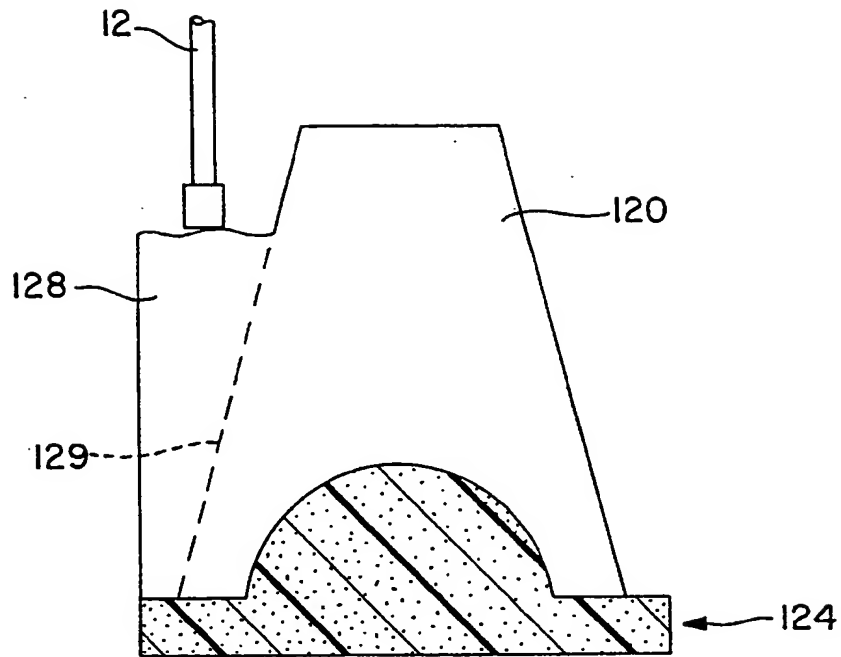


FIG. 6D

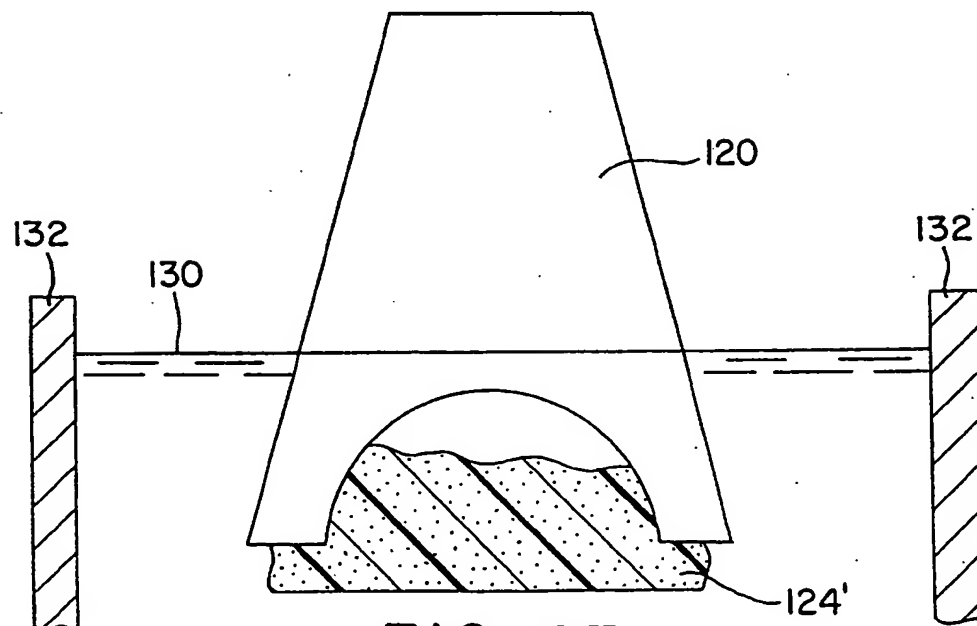


FIG. 6E

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.